



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Offenlegungsschrift
①0 DE 43 18 531 A 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 03 F 3/68
H 03 F 1/42
H 03 G 3/30

②1 Aktenzeichen: P 43 18 531.2
②2 Anmeldetag: 3. 6. 93
④3 Offenlegungstag: 19. 1. 95

DE 43 18 531 A 1

⑦1 Anmelder:
Richard Hirschmann GmbH, 7300 Esslingen, DE

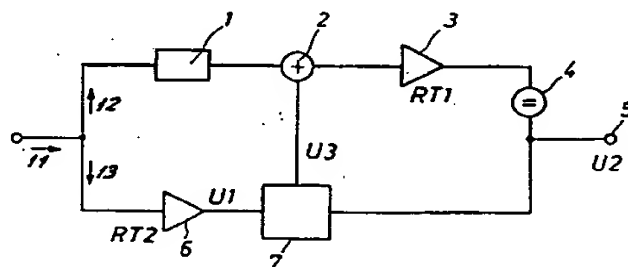
⑦4 Vertreter:
Wagner, K., Dipl.-Ing.; Geyer, U., Dipl.-Phys.
Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

⑦2 Erfinder:
Sommer, Rolf-Dieter, Dipl.-Ing., 7000 Stuttgart, DE;
Gorzellik, Dietrich, Dipl.-Ing., 7440 Oberensingen,
DE; Reuschen, Rolf, Dipl.-Ing., 7300 Oberesslingen,
DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Verfahren und Schaltungsanordnung zum Verstärken von in einem breiten Frequenzbereich liegenden Signalen

⑤7 Bei einer Schaltungsanordnung für einen breitbandigen Verstärker, mit einer Frequenzweiche, die Ausgangssignale mit teilweise sich überlappenden Frequenzspektren bereitstellt, einem ersten Transimpedanzverstärker (3) für höhere Frequenzen und einem zweiten Transimpedanzverstärker (6) für niedere Frequenzen ergeben sich geringe Verstärkungsfehler insbesondere auch im Niederfrequenzbereich trotz eines großen Frequenzbereichs durch einen Regelverstärker (7) zum Regeln des ersten Transimpedanzverstärkers (3). Die genannten Vorteile des breitbandigen Verstärkers ergeben sich auch durch ein Verfahren zum Verstärken von in einem Frequenzbereich liegenden Signalen, bei dem die Signale in sich überlappende niederfrequente und höherfrequente Anteile aufgeteilt und danach jeweils getrennt verstärkt werden, wobei die Verstärkung des niederfrequenten Bereichs des höherfrequenten Anteils auf den Spannungswert des verstärkten niederfrequenten Anteils geregelt wird.



DE 43 18 531 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11. 94 408 063/9

11/31

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verstärken von in einem breiten Frequenzband liegenden Signalen, bei dem die Signale in sich überlappende niederfrequente und höherfrequente Anteile aufgeteilt und danach jeweils getrennt verstärkt werden. Die Erfindung betrifft weiterhin eine Schaltungsanordnung zum Verstärken von in einem Frequenzbereich liegenden Signalen mit einer Frequenzweiche, die Ausgangssignale mit teilweise sich überlappenden Frequenzspektren bereitstellt, sowie mit einem ersten Transimpedanzverstärker für höhere Frequenzen und einem zweiten Transimpedanzverstärker für niedere Frequenzen.

Verstärker, die Signale mit einem breiten Frequenzspektrum verstärken, sind bekannt und werden beispielsweise in Empfangsschaltungen von optischen Übertragungseinrichtungen häufig eingesetzt. Derartige Verstärker weisen jedoch schlechte Niederfrequenzeigenschaften auf. Mögliche Fehlerursachen bei der Verstärkung eines niederfrequenten Signals oder eines niederfrequenten Signalanteils sind dabei Temperaturabhängigkeiten des Arbeitspunktes des Verstärkers sowie Strom- und Spannungs-Offset- und Biasfehler. Die Güte der Verstärkung eines Verstärkers im Niederfrequenzbereich ist dabei in der Regel umgekehrt proportional zur Breite des Frequenzspektrums, das der Verstärker zu verstärken in der Lage ist. Demgemäß weisen Verstärker mit geringen Fehlern im Niederfrequenzbereich üblicherweise eine geringe Bandbreite auf.

Aus der DE-C-34 46 660 ist eine Verstärkeranordnung bekannt, in dem jeweils ein NF- und ein HF-Verstärker in Verbindung mit einer Frequenzweiche zu einer Verstärkereinheit derart kombiniert ist, daß die niederen Frequenzen vom NF-Verstärker und die hohen Frequenzen vom HF-Verstärker verstärkt werden. Derartige Verstärker weisen jedoch den Nachteil auf, daß die unterschiedlichen Frequenzen im Spektrum eines Signals insbesondere im höherfrequenten Bereich unterschiedlich stark und mit unterschiedlicher Fehlercharakteristik verstärkt werden. Dies bedingt, daß schaltungstechnisch Verstärkungsanpassungen in verschiedenen Frequenzbereichen vorgenommen werden müssen.

Aufgabe der Erfindung ist es demnach, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung anzugeben bzw. zu schaffen, mit dem bzw. mit der eine gleichmäßige Verstärkung in einem breiten Frequenzbereich erreicht wird.

Ausgehend von der aus der DE-C-34 46 660 bekannten Schaltungsanordnung wird diese Aufgabe durch einen Regelverstärker zum Regeln des ersten Transimpedanzverstärkers für höhere Frequenzen gelöst. Auf diese Weise wird ein breitbandiger Transimpedanzverstärker geschaffen, der trotz einer großen Bandbreite dennoch eine hohe niederfrequente Genauigkeit aufweist. Darüber hinaus sind Abgleichmaßnahmen beispielsweise der Frequenzweichen, oder Verstärkungsanpassungen für die verschiedenen Frequenzbereiche nicht mehr erforderlich. Darüber hinaus wird nur noch ein einziger Verstärker für höhere Frequenzen benötigt. Der erfindungsgemäße gleichstrom-gekoppelte Transimpedanzverstärker weist dabei vorzugsweise einen Verstärkungs-Frequenzbereich beginnend bei Gleichspannung auf.

Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist der Regelverstärker vom zweiten Transimpedanzverstärker für niedere Frequenzen steuerbar.

Das Ausgangssignal des zweiten Transimpedanzverstärkers für niedere Frequenzen ist durch die geringen Fehler dieses Verstärkers bei niedrigen Frequenzen nur gering verfälscht. Vorzugsweise dient daher die Ausgangsspannung dieses zweiten Transimpedanzverstärkers als Sollwert für den Regelverstärker. Der Istwert des Regelverstärkers ist dabei vorzugsweise die Ausgangsspannung des ersten Transimpedanzverstärkers für höhere Frequenzen, der mittels des Regelverstärkers und der geschlossenen Regelschleife also so eingestellt wird, daß sich am Ausgang der gesamten Schaltungsanordnung die mit dem präzisen zweiten Transimpedanzverstärker für die niedere Frequenzen ermittelte Spannung ergibt. Die Niederfrequenzfehler des ersten Transimpedanzverstärkers für höhere Frequenzen werden also mit dem Regelverstärker korrigiert, wobei die Ausgangsspannung des zweiten Verstärkers für niedere Frequenzen dem Regelverstärker als Sollwert und die nachzuregelnde Ausgangsspannung des ersten Verstärkers für höhere Frequenzen als Istwert zugeführt wird, wobei sich die Frequenzbereiche der Transimpedanzverstärker überlappen. Auf diese Weise ergibt sich eine Selbstregulierung der Fehler, insbesondere der Niederfrequenzfehler des ersten Transimpedanzverstärkers für höhere Frequenzen.

Vorzugsweise sind die effektiven Transimpedanzen des ersten und zweiten Transimpedanzverstärkers gleich.

Vorteilhaft ist es weiterhin, wenn die Verstärkung des Regelverstärkers für Frequenzen im Überlappungsbereich bzw. des Stromübergangs vom ersten und zweiten Transimpedanzverstärker gleich eins ist. Unabhängig von der Verteilung auf die Eingangsströme der beiden Transimpedanzverstärker ergibt sich dadurch automatisch ein flacher Frequenzübergang auch im Übergangsfrequenzbereich. Vorzugsweise ist der Regelverstärker ein Proportional-Integral (PI)-Regler.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Frequenzweiche der erfindungsgemäßen Verstärkerschaltung eine Weiche erster Ordnung. Dadurch wird erreicht, daß die Frequenzweiche besonders einfach gestaltet ist. Die Frequenzweiche weist dabei vorteilhafterweise nur einen Hochpaß auf.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Transimpedanzverstärkers ist die Frequenzweiche eine solche zweiter oder höherer Ordnung. Für den Fall, daß nur ein relativ schmaler Frequenzbereich von Bedeutung ist, kann der Verstärkungsgrad für die unterschiedlichen Frequenzen sehr genau gesteuert werden.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung besteht darin, daß der Regelverstärker in einem Frequenzbereich von Null bis f_1 eine Integralcharakteristik aufweist. Daran anschließend besitzt der Regelverstärker vorzugsweise einen Verstärkungsgrad gleich 1 in einem Frequenzbereich von f_1 bis f_4 . Eine Übergangsfrequenz f_2 ist durch die Frequenzweiche bzw. den Hochpaß der Frequenzweiche bestimmt.

Für die Frequenzen gilt vorzugsweise die Beziehung

$$\begin{aligned} f_1 &< f_2, \\ f_2 &< f_3, \\ f_2 &< f_4, \\ f_3 &< f_5, \\ f_4 &\cup f_5 \end{aligned}$$

wobei f_3 die Grenzfrequenz des zweiten Transimpedanzverstärkers und f_5 die höchste Frequenz ist, bis zu der die Schaltungsanordnung eine konstante, effektive Transimpedanz aufweist, falls die effektiven Transim-

pedanzen des ersten und zweiten Transimpedanzverstärkers gleich sind.

Gemäß einer weiteren, sehr vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung ist im Regelkreis eine Schaltungseinrichtung zur Gleichspannungsverschiebung vorgesehen. Dadurch wird der erste Transimpedanzverstärker für höhere Frequenzen in einen unsymmetrischen Arbeitszustand gebracht und an ein ebenfalls unsymmetrisches Eingangssignal angepaßt. Der Arbeitspunkt des ersten Transimpedanzverstärkers für höhere Frequenzen wird dabei also so verschoben, daß ein unsymmetrischer Aussteuerbereich entsteht, wodurch der Eingang des Verstärkers dem Ausgangssignal beispielsweise einer Photodiode, die nur Strom in einer Polarität liefert, optimal angepaßt ist.

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Gleichspannungsverschiebung besteht auch darin, daß dadurch auf einfache Weise auch Transimpedanzverstärker für höhere Frequenzen eingesetzt werden können, die unterschiedliche Gleichspannungspegel am Ein- und Ausgang aufweisen.

Vorzugsweise umfaßt der Regelverstärker die Schaltungseinrichtung zur Gleichspannungsverschiebung.

Vorteilhaft ist es im Zusammenhang mit der Schaltungseinrichtung zur Gleichspannungsverschiebung, wenn diese den Gleichspannungswert auf einen konstanten Wert regelt.

Die gestellte Aufgabe wird erfindungsgemäß auch durch ein Verfahren, gemäß den Merkmalen des Anspruchs 19 gelöst. Damit lassen sich wiederum die zuvor bereits beschriebenen Vorteile erzielen.

Das bekannte Verfahren gemäß der DE-C-34 46 660 hat den Nachteil, daß außer einem ersten HF-Verstärker noch ein zweiter HF-Verstärker, nämlich der Summenverstärker, benötigt wird. Des weiteren besitzt dieses Verfahren den Nachteil, daß der erste HF-Verstärker einen auf den Eingangswiderstand R bezogen, hochohmigen Eingangswiderstand besitzen muß, damit sich über der Frequenz keine nennenswerte Veränderung des Eingangswiderstands ergibt. Zusätzlich muß der Eingangswiderstand des Summenverstärkers sehr hochohmig sein. Somit können bei dem bekannten Verfahren keine rückgekoppelten Verstärker, die eine hohe Linearität besitzen, eingesetzt werden.

Im erfindungsgemäßen Verfahren ist es jedoch von Vorteil, gerade diese rückgekoppelten Verstärker einzusetzen, die besonders für die Belange der optischen Übertragung vorteilhaft sind.

Vorzugsweise wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Gleichspannungs-Bezugspunkt des höherfrequenten Anteils durch den niederfrequenten Anteil verändert, und insbesondere auf einen konstanten Wert geregelt.

Die Erfindung wird nachfolgend an Hand vorteilhafter Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Figuren erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein schematisches Blockschaltbild einer erfindungsgemäßen Verstärkerschaltung,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer ins einzelne gehenden Ausführungsform der in Fig. 1 dargestellten, erfindungsgemäßen Ausführungsform,

Fig. 3 die effektive Transimpedanz des zweiten Transimpedanzverstärkers für niedere Frequenzen der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung, über der Frequenz aufgetragen,

Fig. 4 eine Frequenzcharakteristik des Regelverstärkers, wie er gemäß einer bevorzugten Ausführungsform einsetzbar ist,

Fig. 5 ein Diagramm, das die Stromaufteilung in Abhängigkeit der Frequenz auf den ersten und zweiten Transimpedanzverstärker schematisch wiedergibt,

Fig. 6 die effektive Transimpedanz der Verstärkerschaltung in der erfindungsgemäßen Ausführungsform als Addition der effektiven Transimpedanzen des Verstärkers für niedere Frequenzen und des Verstärkers für höhere Frequenzen, jeweils mit dem jeweiligen Stromaufteilungsverhältnis, wie in Fig. 5 dargestellt, bewertet, und

Fig. 7 die effektive Transimpedanz der Verstärkerschaltung in der erfindungsgemäßen Ausführungsform, falls die effektiven Transimpedanzen des Verstärkers für niedere Frequenzen und des Verstärkers für höhere Frequenzen den gleichen Wert besitzen.

Bei der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform der erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung wird ein das Signal darstellender Strom I_1 in zwei Teilströme I_2 und I_3 aufgeteilt. Der Teilstrom I_2 wird dem Eingang eines Hochpasses 1 zugeführt. Der Ausgang des Hochpasses 1 ist über ein Summierglied 2 mit dem Eingang eines ersten Transimpedanzverstärkers 3 für höhere Frequenzen verbunden, der über ein Spannungs-Offsetglied 4 mit dem Ausgang 5 der dargestellten breitbandigen Verstärkerschaltung verbunden ist. Der Teilstrom I_3 wird dem Eingang eines zweiten Transimpedanzverstärkers 6 für niedere Frequenzen zugeführt, der mit einem Eingang eines Regelverstärkers 7 verbunden ist. Ein zweiter Eingang des Regelverstärkers 7 ist über das Offsetregelungsglied 4 mit dem Ausgang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 verbunden. Der Ausgang des Regelverstärkers 7 ist mit dem Summierglied 2 verbunden.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärker gelangt der Teilstrom I_3 , der den niederfrequenten Anteil des das Eingangssignal bildenden Stroms I_1 bildet, zu dem Eingang des zweiten Transimpedanzverstärkers 6 und wird von diesem verstärkt. Der zweite Transimpedanzverstärker 6 hat bis zu einer Grenzfrequenz f_3 eine ausgeglichene Frequenzcharakteristik. Dies ist typisch für niederfrequente Transimpedanzverstärker, da sie gegenüber Temperaturschwankungen unempfindlich sind und sich durch niedrige Biasströme und geringe Spannungs-Offsetfehler auszeichnen.

Die am Ausgang des zweiten Transimpedanzverstärkers 6 vorliegende Spannung U_1 gelangt über den Regelverstärker 7 und das Summierglied 2 zum Eingang des ersten Transimpedanzverstärkers 3, von dem es verstärkt wird. Die am Ausgang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 anliegende Spannung gelangt über das Spannungs-Offsetglied 4, das als Nullpunktkorrektur-einheit arbeitet, zum Ausgang 5 des erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärkers.

Der erste Transimpedanzverstärker 3 weist gegenüber dem zweiten Transimpedanzverstärker 6 eine höhere Temperaturdrift, höhere Bias- und Offsetströme und größere Spannungs-Offsetfehler auf. Um diese Fehler zu kompensieren, wird die Ausgangsspannung des ersten Transimpedanzverstärkers 3 auf einen zweiten Eingang des Regelverstärkers 7 zurückgeführt. Der Regelverstärker 7 ist so ausgelegt, daß an seinem Ausgang ein Signal erzeugt wird, das bei Eingabe in den ersten Transimpedanzverstärker 3 dessen Fehler wie Temperaturdrift, Biasströme und Strom- und Spannungs-Offsetfehler ausgleicht. Um keine eigene Fehlerquelle darzustellen, ist der Regelverstärker 7 als Tiefpaß ausgelegt.

Der die höheren Frequenzen des das Eingangssignal darstellenden Stroms I1 beinhaltende Teilstrom I2 gelangt über den Hochpaß 1 zum ersten Transimpedanzverstärker 3 und wird von diesem verstärkt, so daß eine entsprechende Spannung am Ausgang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 anliegt. Auf Grund der Tiefpaßcharakteristik des Regelverstärkers 7 kann dieser Anteil des Eingangssignals nicht wieder dem Eingang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 zur Kompensation von dessen Fehlern zugeführt werden. Bezüglich der hohen Frequenzen ist die am Ausgang des Transimpedanzverstärkers 3 anliegende Spannung deshalb gleich der am Ausgang 5 des erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärkers anliegenden Spannung.

Bei der in Fig. 2 detaillierter dargestellten Schaltungsanordnung der erfindungsgemäßen Ausführungsform gemäß Fig. 1 wurden für gleiche Bau- bzw. Schaltungsteile dieselben Bezugszeichen wie in Fig. 1 verwendet. Der das zu verstärkende Signal darstellende Strom I1 gelangt zum Eingang 8 des erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärkers. Der Eingang 8 ist über einen Kondensator 9 mit dem invertierenden Eingang eines Operationsverstärkers 10 des ersten Verstärkers 3 verbunden. Der Ausgang des Operationsverstärkers 10 ist über einen Widerstand 11 mit dessen invertierendem Eingang verbunden. Des weiteren ist der Ausgang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 mit dem Ausgang 5 des erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärkers verbunden.

Mit dem Eingang 8 des erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärkers ist weiterhin der invertierende Eingang eines Operationsverstärkers 12 des zweiten Transimpedanzverstärkers 6 verbunden. Der Ausgang des Operationsverstärkers 12 ist über einen Widerstand 13 mit dessen invertierendem Eingang verbunden. Am nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 12 liegt eine Bezugsspannung V_{Ref} an.

Der Regelverstärker 7 umfaßt bei der in Fig. 2 dargestellten Ausführungsform einen Operationsverstärker 14, dessen nicht invertierender Anschluß 15 mit dem Ausgang des zweiten Transimpedanzverstärkers 6 bzw. dessen Operationsverstärker 12, und dessen invertierender Eingang 16 über einen Widerstand 17 mit dem Ausgang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 bzw. dessen Operationsverstärkers 10 verbunden ist. Der Ausgang des Operationsverstärkers 14 ist einerseits über einen Kondensator 18 mit dem invertierenden Eingang und andererseits über die in Reihe geschalteten Widerstände 19, 20 mit seinem positiven Eingang 15 verbunden. Das Ausgangssignal U3 des Regelverstärkers 7 wird am Verbindungspunkt der Widerstände 19 und 20 abgegriffen und dem Summierglied 2 bereitgestellt, das bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel im ersten Transimpedanzverstärker 3 integriert ist, so daß das Ausgangssignal U3 des Regelverstärkers 7 an den positiven Eingang des Operationsverstärkers 10 des ersten Transimpedanzverstärkers 3 gelangt.

Bei dem in Fig. 2 dargestellten breitbandigen Verstärker wird ein den niederfrequenten Anteil des Signals I1 darstellender Teilstrom I3 vom zweiten Transimpedanzverstärker 6 verstärkt, wobei der Widerstand 13 in Verbindung mit dem Kondensator 9 die nachfolgend anhand von Fig. 5 erläuterte Grenzfrequenz f_2 bestimmt. Die am Ausgang des zweiten Transimpedanzverstärkers 6 anliegende Spannung U1 gelangt über den Widerstand 20 zum nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 10 des ersten Transimpedanzverstärkers 3. Dieser weist als effektive Trans-

impedanz den Widerstand 11 auf. Die am Ausgang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 anliegende Spannung wird über den Widerstand 17 dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 14 des Regelverstärkers 7 zugeführt. Die am Ausgang des Operationsverstärkers 14 anliegende Spannung gelangt über den Widerstand 19 zum nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 10 des ersten Transimpedanzverstärkers 3. Der mit dem Ausgang und dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 14 verbundene Kondensator 18 bewirkt, daß die hochfrequenten Anteile des am Ausgang des Operationsverstärkers 14 anliegenden Signals auf den invertierenden Eingang zurückgeführt werden, so daß die hohen Frequenzen unterdrückt werden. Der Regelverstärker 7 hat deshalb die Frequenzcharakteristik eines Tiefpasses und wirkt kompensierend auf die Fehler wie hohe Temperaturdrift, hohe Biasströme und große Spannungs-Offsetfehler des ersten Transimpedanzverstärkers 3, weil das an dessen Ausgang vorliegende Signal dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 14 des Regelverstärkers 7 zugeführt wird, was auch eine Invertierung dieser Fehler bewirkt. Das Ausgangssignal des Operationsverstärkers 14 wird anschließend über den Widerstand 19 dem nicht invertierenden Eingang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 zugeführt. Die höherfrequenten Signaleanteile des den Eingangsstrom I1 bildenden Signals nehmen in der Fig. 2 den Weg des Teilstromes I2. Dieser gelangt über den als Hochpaß 1 arbeitenden Kondensator 9 zum invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 10 des ersten Transimpedanzverstärkers 3. Das Ausgangssignal des ersten Transimpedanzverstärkers 3 gelangt zum Ausgang 5 des erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärkers. Die Fehler dieses hochfrequenten Signalanteils werden nicht kompensiert, da der Regelverstärker 3 eine Tiefpaßcharakteristik hat und deshalb für hohe Frequenzen undurchlässig ist.

Auf Grund der Integratorwirkung arbeitet der Regelverstärker 7 als Tiefpaß. Der erfindungsgemäße Regelverstärker 7 weist daher, wie in Fig. 4 gezeigt ist, bis zu einer Frequenz f_1 eine Frequenzcharakteristik auf, bei der die niederen Frequenzanteile überproportional verstärkt werden. Bei Frequenzen höher als f_1 hat der erfindungsgemäße Regelverstärker 7 bis hin zu einer Frequenz f_4 , nämlich der oberen Grenzfrequenz des zweiten Transimpedanzverstärkers 6, eine ausgeglichene Frequenzcharakteristik mit einem Verstärkungsfaktor von 1. Frequenzen oberhalb von f_4 werden nur noch mit einem Verstärkungsgrad kleiner 1 übertragen. Die Frequenzen sind in Fig. 3, wie in den Fig. 4, 5, 6 und 7 in logarithmischem Maßstab dargestellt. Es gilt:

$$f_1 < f_2,$$

$$f_2 < f_3,$$

$$f_2 < f_4,$$

$$f_3 < f_5,$$

$$f_4 < f_5$$

Bei dem in Fig. 2 dargestellten Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen breitbandigen Verstärkers haben die effektive Transimpedanz des zweiten Transimpedanzverstärkers 6 und des ersten Transimpedanzverstärkers 3, nämlich die Widerstände 13 bzw. 11 gleiche Widerstandswerte, und die Verstärkung des Regelverstärkers 7 ist, wie in Fig. 4 dargestellt, im Übergangsbereich um die Frequenz f_2 gleich 1. Dadurch wird erreicht, daß unabhängig von der Verteilung des Eingangsstroms auf den ersten Transimpedanzverstärker 3 und den zweiten Transimpedanzverstärker 6 automatisch ein flacher Frequenzgang auch im Übergangs-

frequenzbereich um die Frequenz f_2 entsteht, wie in Fig. 6 und Fig. 7 dargestellt ist.

Der Regelverstärker 7 kann insgesamt als Offset-Spannungsregulierer für den ersten Transimpedanzverstärker 3 verwendet werden, da er auf den nicht invertierenden Eingang des ersten Transimpedanzverstärkers 3 arbeitet.

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung zum Verstärken von in einem breiten Frequenzbereich liegenden Signalen, mit einer Frequenzweiche, die Ausgangssignale mit teilweise sich überlappenden Frequenzspektren bereitstellt, einem ersten Transimpedanzverstärker (3) für höhere Frequenzen und einem zweiten Transimpedanzverstärker (6) für niedere Frequenzen, **gekennzeichnet durch** einen Regelverstärker (7) zum Regeln des ersten Transimpedanzverstärkers (3) für höhere Frequenzen.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelverstärker (7) vom zweiten Transimpedanzverstärker (3) für niedere Frequenzen steuerbar ist.
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsspannung (U_1) des zweiten Transimpedanzverstärkers (6) als Sollwert für den Regelverstärker (7) dient.
4. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsspannung des ersten Transimpedanzverstärkers (3) als Istwert für den Regelverstärker (7) dient.
5. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die effektiven Transimpedanzen (11 bzw. 12) des ersten und zweiten Transimpedanzverstärkers (3 bzw. 6) gleich sind.
6. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkung des Regelverstärkers (7) im Frequenzbereich des Stromübergangs vom ersten und zweiten Transimpedanzverstärker (3, 6) gleich 1 ist.
7. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelverstärker (7) ein Proportional-Integral-Regler ist.
8. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzweiche eine Weiche erster Ordnung ist.
9. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzweiche eine Weiche zweiter oder höherer Ordnung ist.
10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Frequenzweiche einen Hoch- und einen Tiefpaß aufweist.
11. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelverstärker (7) in einem Frequenzbereich von Null bis f_1 eine Integralcharakteristik aufweist.
12. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelverstärker (7) einen Verstärkungsgrad gleich 1 in einem Frequenzbereich f_1 bis f_4 aufweist.
13. Schaltungsanordnung nach einem der vorherge-

henden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine Übergangsfrequenz f_2 durch die Frequenzweiche bestimmt ist.

14. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangsfrequenz f_2 durch den Hochpaß bestimmt ist.

15. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Beziehung

$$f_1 < f_2,$$

$$f_2 < f_3,$$

$$f_2 < f_4,$$

$$f_4 < f_5,$$

$$f_3 < f_5.$$

gilt, wobei f_3 die Grenzfrequenz des zweiten Transimpedanzverstärkers und f_5 die höchste Frequenz ist, bis zu der die Schaltungsanordnung eine konstante, effektive Transimpedanz aufweist.

16. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Regelkreis eine Schaltungseinrichtung (4) zur Gleichspannungsverschiebung vorgesehen ist.

17. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Regelverstärker (7) die Schaltungseinrichtung (4) zur Gleichspannungsverschiebung umfaßt.

18. Schaltungsanordnung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Schaltungseinrichtung (4) zur Gleichspannungsverschiebung den Gleichspannungswert auf einen konstanten Wert regelt.

19. Verfahren zum Verstärken von in einem Frequenzbereich liegenden Signalen, bei dem die Signale in sich überlappende niederfrequente und höherfrequente Anteile aufteilt und danach jeweils getrennt verstärkt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Verstärkung des niederfrequenten Bereichs des höherfrequenten Anteils auf den Spannungswert des verstärkten niederfrequenten Anteils geregelt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichspannungs-Bezugspunkt des höherfrequenten Anteils durch den niederfrequenten Anteil verändert wird.

21. Verfahren nach Anspruch 19 und 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Gleichspannungs-Bezugspunkt des höherfrequenten Bereichs des höherfrequenten Anteils auf einen konstanten Wert geregelt wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

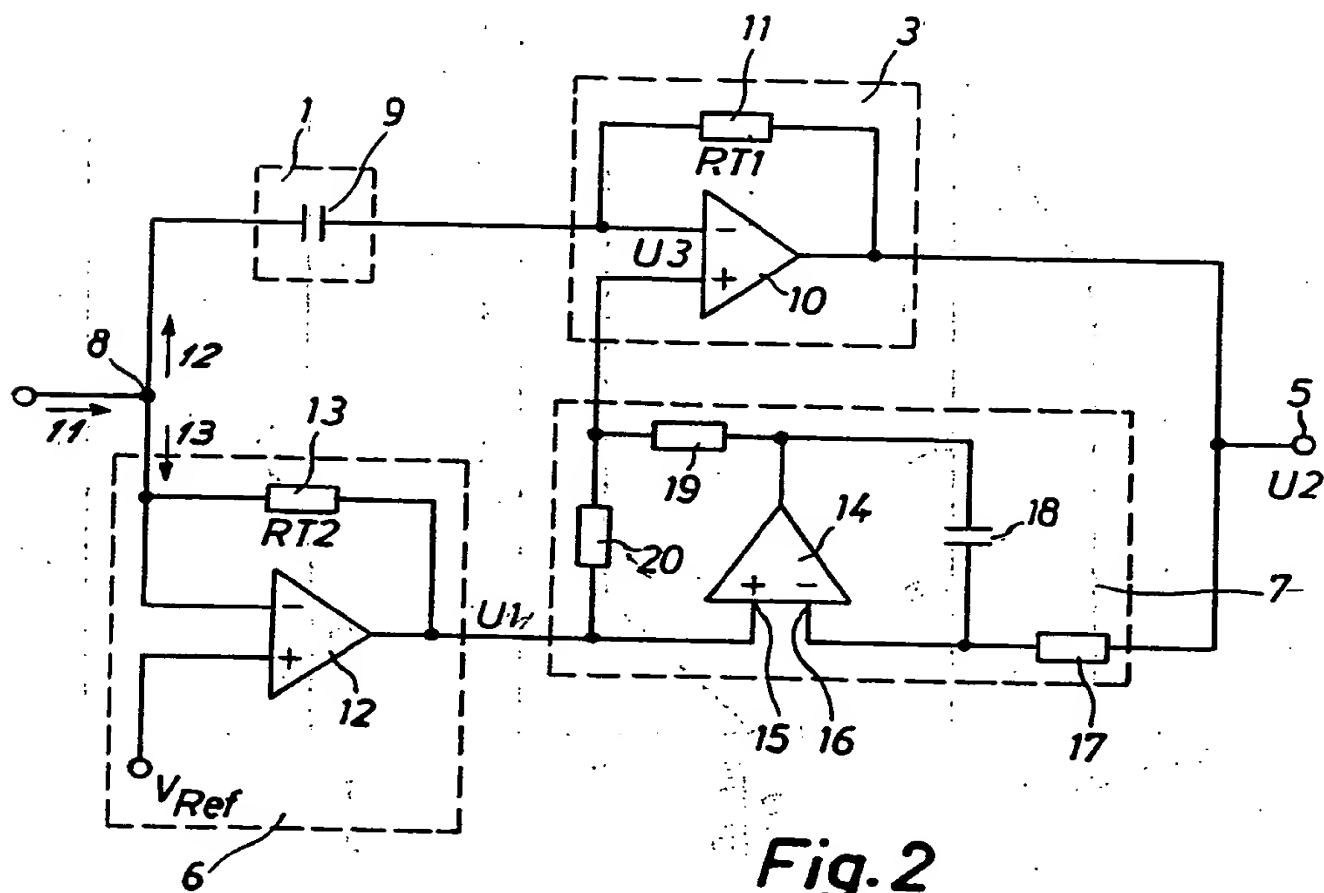
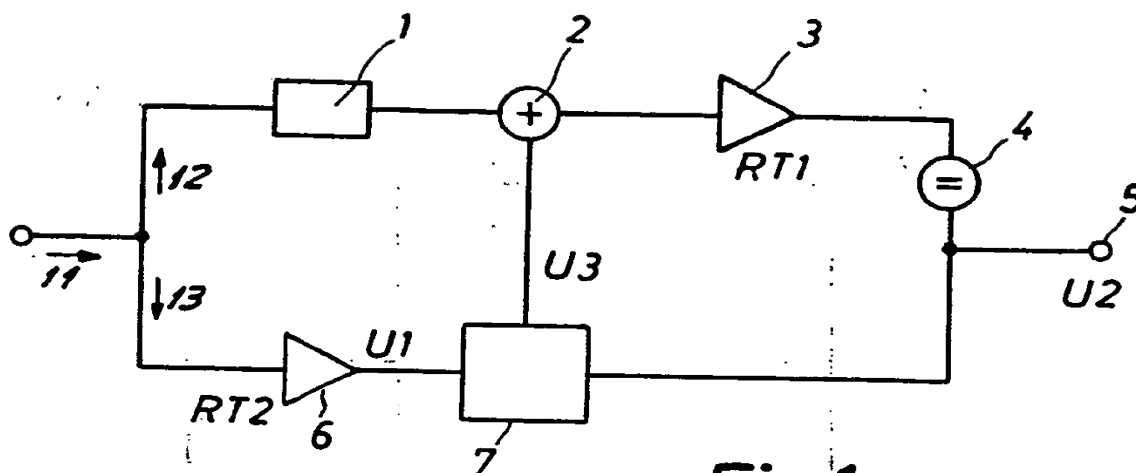


Fig.3

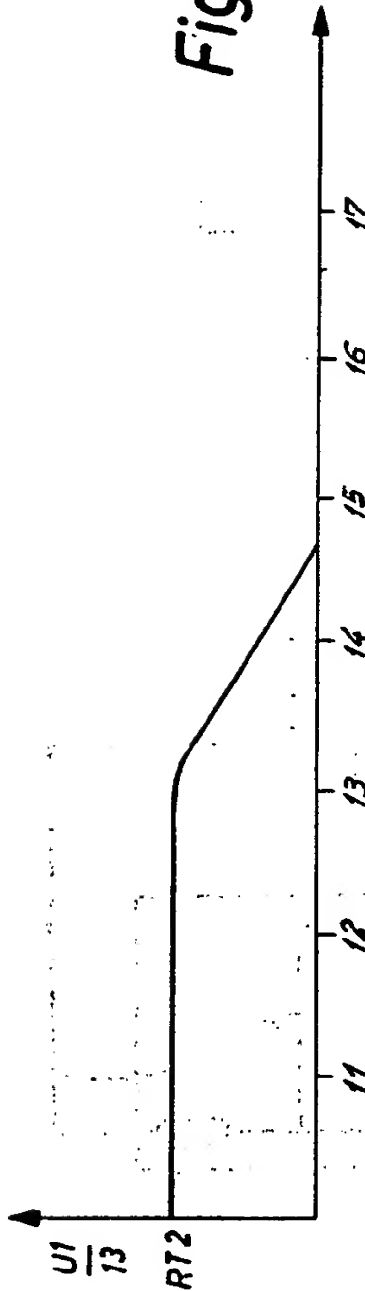


Fig.4

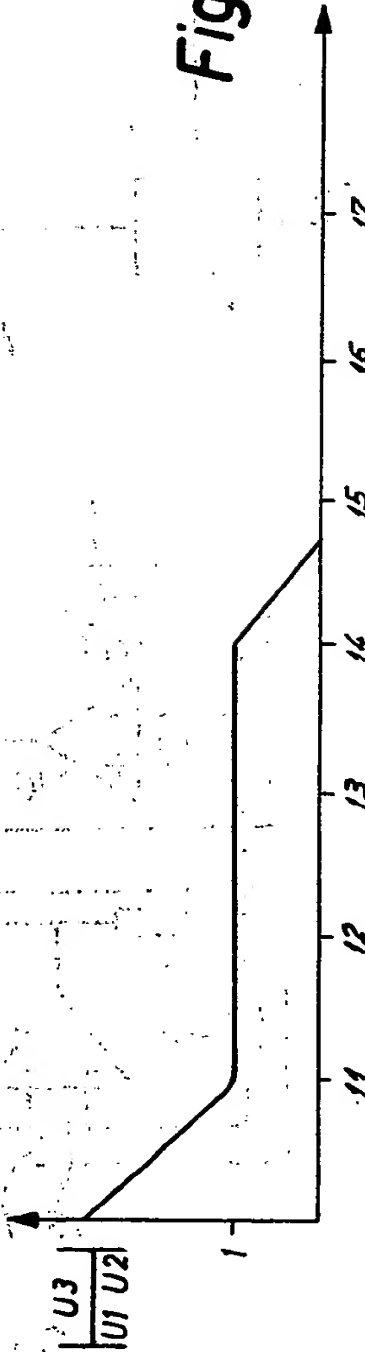


Fig.5

